



# CLEAN AIR STATUS AND TRENDS NETWORK (CASTNET)

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROGRAMA

CASTNET es una red de monitoreo ambiental a largo plazo que cuenta con 96 sitios ubicados en todos los Estados Unidos y Canadá. CASTNET es administrada y operada por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) en colaboración con el Servicio de Parques Nacionales (NPS); la Oficina de Administración de Tierras, Oficina Estatal de Wyoming (BLM); y otros socios federales, estatales y locales, incluidas seis tribus nativas estadounidenses que operan los sitios de CASTNET en tierras tribales. La red se estableció en virtud de las Enmiendas de 1990 a la Ley de Aire Limpio para facilitar la rendición de cuentas por los programas de reducción de emisiones mediante el reporte de las tendencias en las concentraciones de contaminantes y la deposición ácida. Los datos de CASTNET también respaldan la evaluación de los Estándares Nacionales para la Calidad de Aire Ambiental (NAAQS) primarios y secundarios para el ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). El NPS y la BLM utilizan los datos de CASTNET para evaluar los excesos de cargas críticas en los ecosistemas sensibles (es decir, sitios costeros y de gran altura) y las aplicaciones relacionadas con los permisos.

*CASTNET es una red de monitoreo rural a largo plazo que se utiliza para evaluar los resultados ambientales debido a los programas de reducción de emisiones y a los impactos de contaminantes en la vegetación y los ecosistemas sensibles.*

CASTNET ([www.epa.gov/castnet](http://www.epa.gov/castnet)) mide las concentraciones ambientales de especies de azufre y nitrógeno, así como las concentraciones rurales de O<sub>3</sub>. Las concentraciones ambientales de gases, SO<sub>2</sub> y ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), y partículas, sulfato (SO<sub>2</sub>-4), nitrato (NO<sub>3</sub>), amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), cloruro (Cl<sup>-</sup>), y cationes básicos, se utilizan para calcular los flujos de deposición seca (Meyers et al., 1998). CASTNET es la única red de los Estados Unidos que brinda un registro de datos coherente y a largo plazo de los flujos de deposición ácida en forma seca. Al reconocer la creciente importancia de la reducción de las especies de nitrógeno, CASTNET también participa en la Red de Monitoreo de Amoníaco del Programa Nacional de Deposición Atmosférica ([www.nadp.sih.wisc.edu](http://www.nadp.sih.wisc.edu)) (NADP/AMoN). Los sitios de la AMoN miden las concentraciones quincenales de amoníaco ambiental (NH<sub>3</sub>) mediante muestreadores pasivos. CASTNET se encuentra en la misma ubicación que la AMoN en 68 sitios, lo que proporciona un presupuesto de nitrógeno más completo. Los resultados del modelo Calidad del aire a escala múltiple para la comunidad (CMAQ) arrojaron que a CASTNET le faltaba entre el 10 y el 40 % del presupuesto total de nitrógeno antes de la incorporación de la AMoN. A diferencia de las tendencias descendentes en las especies de nitrógeno oxidado, los sitios de la AMoN que se instalaron entre 2007 y 2008 muestran un aumento de las concentraciones de NH<sub>3</sub> en la mayor parte de los Estados Unidos (Butler et al., 2016).

CASTNET complementa la Red de Tendencias Nacionales (NTN) del NADP, que se considera la principal fuente de datos de deposición húmeda del país y ofrece flujos semanales de deposición húmeda en más de 250 sitios en los Estados Unidos, Canadá, Alaska, Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos. Casi todos los sitios de CASTNET se encuentran en la misma ubicación que un sitio de la NTN o cerca de uno de ellos. Juntos, estos dos programas de monitoreo brindan los datos necesarios para calcular las tendencias temporales y espaciales a largo plazo en la deposición total (seca y húmeda), así como en la salud del ecosistema.

Los monitoreos de ozono en 83 sitios de CASTNET cumplen con los requisitos del Título 40 del Código de Reglamentaciones

Federales (CFR), Parte 58, y se utilizan para determinar el cumplimiento de los NAAQS para el O<sub>3</sub>. Las mediciones por hora de O<sub>3</sub> se envían al sitio web de AIRNow ([www.airnow.gov](http://www.airnow.gov)) y a la base de datos del Sistema de Calidad de Aire (AQS) de la EPA.

CASTNET también ofrece mediciones de gases a nivel de trazas en sitios selectos. Ocho sitios miden los óxidos de nitrógeno reactivo (NO/NO<sub>y</sub>). NO<sub>y</sub> es un gas reactivo que contribuye a la formación de O<sub>3</sub> y partículas finas. Tres sitios midieron el SO<sub>2</sub> y el monóxido de carbono (CO) como parte de su participación en la red "National Core" (NCore) de la EPA. Un sitio ofrece un sistema mejorado de NO/NO<sub>y</sub> que permite la especiación del nitrógeno reactivo en sus componentes.

En 2012, CASTNET desarrolló una estación de monitoreo de espacio reducido que no requiere un refugio con control de temperatura. Estos sitios que son solo de paquetes de filtros se pueden operar mediante fuentes de energía alternativas (eólica/solar). En la actualidad, 12 sitios de espacio reducido que cuentan con la red CASTNET, incluidos 3 sitios de energía alternativa, están en funcionamiento.

Desde 2013, los cálculos de deposición total han sido evaluados mediante la técnica de fusión del modelo de medición del Comité Científico de Deposición Total (TDep) del NADP. El enfoque híbrido combina las mediciones ambientales de CASTNET con el resultado del modelo de CMAQ para proporcionar cálculos de la deposición seca organizados en cuadrículas. Estas cuadrículas se combinan con los flujos de deposición húmeda de



la NTN y la Red de Monitoreo de Investigaciones Atmosféricas Integradas (AIRMoN) del NADP para desarrollar mapas de la deposición total. Los productos disponibles incluyen conjuntos de datos organizados en cuadrículas y mapas de los componentes de la deposición total de nitrógeno y azufre. El método TDep se describe en Schwede y Lear (2014) y en una hoja informativa disponible en el sitio web TDEP del NADP en: <http://nadp.slh.wisc.edu/committees/tdep/>.

El uso del modelo CMAQ en combinación con las concentraciones atmosféricas ambientales disponibles permite una mayor resolución espacial y la inclusión de compuestos de nitrógeno adicionales que contribuyen a la deposición seca total de nitrógeno.

El desarrollo del método híbrido continúa como parte de la misión de TDep para mejorar los cálculos de la deposición atmosférica. La figura 1 muestra el resultado del método TDep para la deposición total de nitrógeno en 2016.

### RENDICIÓN DE CUENTAS Y RESULTADOS

Los programas de reducción de emisiones, como el Programa de Lluvia Ácida, la Regla Interestatal de Aire Limpio y, más recientemente la Regla Transestatal de Contaminación del Aire y la Regla de Actualización, han llevado a reducciones significativas en los contaminantes ambientales de azufre y nitrógeno, así como en las concentraciones ambientales de O<sub>3</sub>. Uno de los objetivos de CASTNET es cuantificar los resultados ambientales de estos programas de reducción de emisiones. Los resultados de estos programas se resumen en los informes anuales de la División de Mercados de Aire Limpio (CAMD) de la EPA ([www.epa.gov/airmarkets](http://www.epa.gov/airmarkets)).

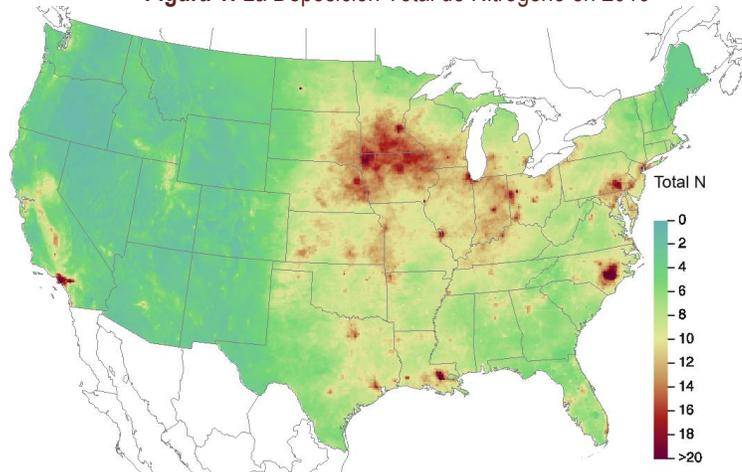
### Concentraciones Atmosféricas

CASTNET informa sobre las tendencias regionales a largo plazo de los contaminantes atmosféricos. Las figuras 2 y 3 muestran las tendencias en las concentraciones totales de nitrato y dióxido de azufre en el este de los Estados Unidos entre 1990 y 2016. La media trienal de las concentraciones de dióxido de azufre disminuyó en un 86 % (8,8 a 1,2 µg/m<sup>3</sup>) entre los períodos de 1990 a 1992 y 2014 a 2016 en el este de los Estados Unidos. Las concentraciones totales de nitrato (NO<sub>3</sub> + HNO<sub>3</sub>) disminuyeron en un 48 % (3 a 1,6 µg/m<sup>3</sup>) durante el mismo período. Aunque las concentraciones en los sitios occidentales de CASTNET suelen ser más bajas, no han mostrado el mismo nivel de reducción que en los sitios orientales.

### Ozono

CASTNET es la red principal para medir las concentraciones rurales y representativas a nivel regional de O<sub>3</sub>, así como para evaluar los cambios en las contribuciones de O<sub>3</sub> de fondo. Todos menos uno de los sitios de ozono que cuentan con la red CASTNET cumplen con los criterios de monitoreo reglamentario del Título 40 del CFR, Parte 58. Dos sitios se encuentran en la misma ubicación que los monitoreos primarios de O<sub>3</sub>. Estos se designan para fines de Garantía de Calidad (QA) y, por lo tanto, no se utilizan para determinar el cumplimiento de los NAAQS. Como resultado, los datos de CASTNET de 80 sitios se incluyen en los cálculos de valor de diseño para respaldar las determinaciones de los NAAQS.

Figura 1: La Deposición Total de Nitrógeno en 2016



**La deposición seca** es la fracción de la deposición atmosférica que se deposita en la superficie de la tierra por decantación, impactación o adsorción.  
**La deposición húmeda** es la fracción de la deposición atmosférica depositada en la superficie de la tierra por precipitaciones, predominantemente en forma de gotas de lluvia, nieve o nubes.  
**La deposición seca y húmeda** se combinan para calcular la deposición total de contaminantes (gases y partículas) en la superficie terrestre.

Figura 2: Las tendencias en las concentraciones totales de dióxido de azufre (Este de los Estados Unidos)

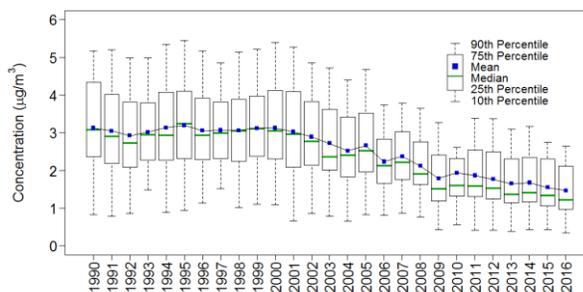
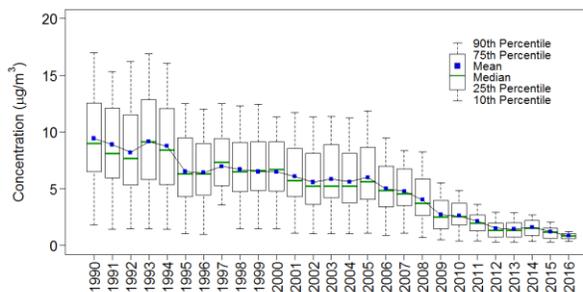


Figura 3: Las tendencias en las concentraciones totales de nitrato (Este de los Estados Unidos)



La figura 4 muestra el promedio trienal de la cuarta concentración en el DM8A más alto correspondiente al período de 2014 a 2016 para los sitios de CASTNET que cumplen con los criterios de integridad.

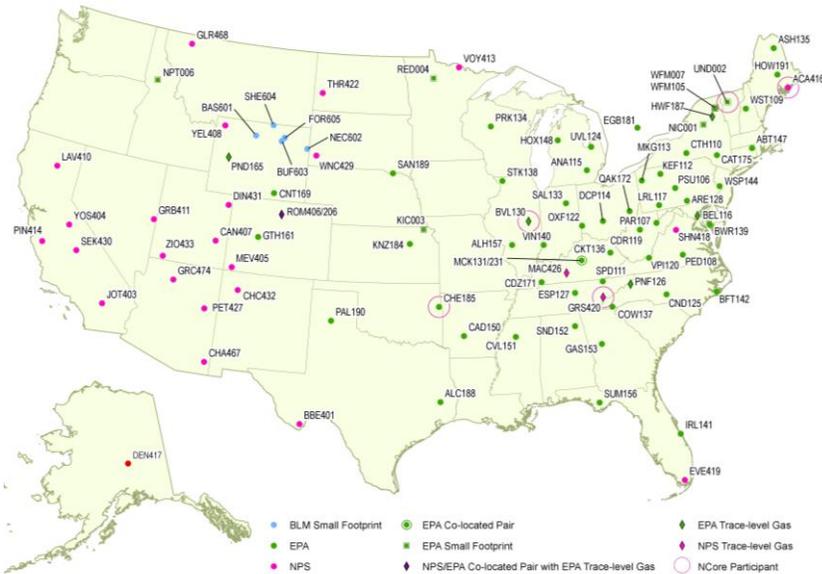
**Figura 4:** El promedio trienal de la cuarta concentración en el DM8A más alto correspondiente al período de 2014 a 2016



**ASOCIACIONES DE CASTNET**

En la figura 5 se muestran los sitios de CASTNET que funcionan actualmente. La EPA opera 64 sitios, el NPS patrocina 27 sitios y la BLM opera 5 sitios en Wyoming. La EPA copatrocina dos de sus sitios de Nueva York con el Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York (NYSDEC) y la Autoridad de Investigación y Desarrollo de Energía del Estado de Nueva York (NYSERDA). La EPA también copatrocina sitios tribales de CASTNET con seis tribus nativas estadounidenses. Muchos sitios se encuentran en la misma ubicación que otras redes de monitoreo, como la AIRMoN, AMoN, MDN, AMNet y NTN del NADP; el Monitoreo entre Agencias de Ambientes Visuales Protegidos (IMPROVE); y la red de monitoreo NCore de la EPA. En conjunto, estas redes complementarias apoyan la responsabilidad reglamentaria y proporcionan datos utilizados por la comunidad científica para mejorar y validar los modelos de calidad del aire, así como para evaluar los procesos químicos atmosféricos cambiantes.

**Figure 5:** Los sitios de CASTNET



**Participar en CASTNET**

Al unirse a un programa nacional de monitoreo a largo plazo, los socios pueden evaluar y realizar un seguimiento de las tendencias regionales en la calidad del aire y la deposición. Los datos de monitoreo también pueden mejorar la representación en las decisiones de políticas regionales y nacionales. Si bien CASTNET proporcionará orientación técnica y logística para el establecimiento de los sitios, los socios son responsables de la financiación y las operaciones. Sin embargo, la validación de los datos, la capacitación, el mantenimiento y la

Resumen de la red	
<b>Cantidad de sitios</b>	96
<b>Mediciones ambientales semanales</b>	
<b>Gaseosas</b>	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )
<b>De partículas</b>	Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) Nitrato (NO <sub>3</sub> ) Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) Cationes básicos (Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> )
	Ion cloruro (Cl <sup>-</sup> )
<b>Mediciones por hora</b>	
	Ozono (O <sub>3</sub> ) Gas a nivel de trazas* Óxido de nitrógeno (NO) Óxidos de nitrógeno reactivo (NO <sub>x</sub> ) Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) Monóxido de carbono (CO) Temperatura del refugio Temperatura a 9 m
<b>Parámetros meteorológicos<sup>†</sup></b>	Temperatura a 2 m Velocidad y dirección del viento <b>(promedios de 1 hora)</b> Sigma-theta (desviación estándar de la dirección horizontal del viento) Radiación solar Humedad relativa Precipitaciones Humedad de la superficie
*En sitios selectos	
†En 2010, se suspendieron las mediciones meteorológicas en la mayoría de los sitios de CASTNET patrocinados por la EPA.	

calibración de los equipos, los análisis de laboratorio y las auditorías se realizan a través del programa establecido después de la instalación del sitio.

Existen diversas oportunidades de financiación para el monitoreo de la calidad del aire, incluidos los subsidios de investigación del programa Ciencia para Lograr Resultados (STAR), el programa Subsidios Estatales y Tribales (STAG), las oportunidades de financiación a través de la Oficina de Implementación de la Ley y Aseguración de Cumplimiento de la EPA, así como subsidios federales, de la Oficina de Aire y Radiación de la EPA, tribales y de justicia ambiental disponibles a través de diversas oficinas de la EPA. ¿Está interesado en participar en CASTNET? El primer paso es ponerse en contacto con la Oficina del Programa CASTNET de la EPA (puchalski.melissa@epa.gov).

## ÁREAS DE INVESTIGACIÓN

### Mediciones mejoradas de nitrógeno reactivo

Las velocidades de deposición de las especies que contribuyen al nitrógeno reactivo total pueden variar significativamente, lo que conduce a grandes incertidumbres en los cálculos de flujo de nitrógeno cuando no se miden especies individuales (es decir, NO<sub>y</sub>). Actualmente, la CAMD de la EPA está operando un sistema mejorado de nitrógeno reactivo en el sitio Duke Forest, NC (DUK008). El sistema utiliza un sistema tradicional de NO/NO<sub>y</sub> con convertidores adicionales para la especiación del nitrógeno reactivo (es decir, NO<sub>2</sub>, NH<sub>x</sub>) mediante un solo detector de NO. Las mediciones se compararán con otros sistemas de monitoreo de nitrógeno implementados en el sitio DUK008 para evaluar el desempeño del sistema y analizar las contribuciones de los componentes del nitrógeno reactivo. Las concentraciones de nitrógeno reactivo sometidas a especiación no solo reducen las incertidumbres en la deposición de nitrógeno, sino que también proporcionan concentraciones atmosféricas de contaminantes secundarios (O<sub>3</sub>, PM), que son útiles en áreas que no cumplen con los logros.

### Mediciones directas de flujo de deposición

La medición directa de los flujos de deposición seca es costosa y requiere mucha mano de obra. Sin embargo, actualmente se están desarrollando métodos de medición alternativos y, una vez que estén disponibles, se utilizarán para comparar los flujos de deposición seca estimados de CASTNET con los resultados de la medición de la deposición directa. La Oficina de Investigación y Desarrollo (ORD) y la CAMD de la EPA respaldan la operación del Monitor de aerosoles y gases en el aire ambiente (MARGA) en numerosos sitios. El sistema MARGA produce concentraciones por hora de muchos analitos recogidos históricamente por CASTNET más NH<sub>3</sub>. El sistema MARGA se utiliza para medir flujos de deposición seca directa en diferentes ecosistemas para mejorar la parametrización del modelo y caracterizar las mediciones integradas del paquete de filtros de CASTNET. Hasta la fecha, los instrumentos del sistema MARGA han sido operados en los siguientes lugares:

Grupo operativo de MARGA	Lugar	ID del sitio CASTNET	Período de operación
CAMD	Beltsville, MD	BEL116	2013 a 2016
ORD	Duke Forest, NC	DUK008	2011 a la actualidad
ORD	Coweeta, NC	COW137	2014 a 2015
Universidad Estatal de Colorado	Parque nacional Theodore Roosevelt, ND	THR422	2015
Universidad Estatal de Colorado	Parque Nacional de las Montañas Rocosas, CO	ROM406	2015
College of Charleston	Charleston, SC	N/C	2017
Encuesta Sobre el Agua del Estado de Illinois	Bondville, IL	BVL130	2017

En 2019, el Servicio de Investigación de Agricultura (ARS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) tiene previsto operar un sistema MARGA en Denton, MD. Para obtener más información sobre la colaboración y el uso del sistema MARGA en el monitoreo de oportunidades de investigación, comuníquese con la Oficina del Programa CASTNET de la EPA (Beachley.Gregory@epa.gov). En 2015, la ORD, con el apoyo de la CAMD y el Servicio Forestal del USDA, completó el Estudio de Deposición de Nitrógeno de los Apalaches Sureños (SANDS), que incluyó mediciones de flujo de

deposición seca cerca del sitio COW137, NC. Los equipos incluían un monitor de NO<sub>y</sub> de respuesta rápida, un sistema de deposición directa MARGA, un monitor de Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase (CAPS) para NO<sub>2</sub> y otros equipos avanzados. Cinco subsitios dentro de la cuenca de Coweeta monitorearon las concentraciones a lo largo de un transecto mediante muestreadores pasivos para NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> y ácido nítrico. Los muestreadores pasivos se implementaron cada dos semanas junto con el paquete de filtros de CASTNET y el muestreo de la AMoN.

### Mediciones de la reducción del nitrógeno

Mediante el reconocimiento de la importancia de la reducción del nitrógeno en el presupuesto de nitrógeno atmosférico, su contribución a la deposición y su papel en la formación de partículas PM<sub>2.5</sub>, la EPA continuará apoyando las mediciones de la reducción del nitrógeno, así como el desarrollo y la parametrización del modelo de deposición. La ORD y la CAMD de la EPA lideran el Estudio de Caracterización de Sitios de la AMoN, que recopila muestras de suelo, hojas y basura en tres sitios de CASTNET, además de la micrometeorología y las mediciones de humedad del suelo. Los objetivos del estudio incluyen mejorar la parametrización de entrada para un modelo de deposición seca bidireccional de NH<sub>3</sub> y aumentar la comprensión de los puntos de compensación de NH<sub>3</sub> y los factores que los afectan más directamente.



## DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS

**Datos de CASTNET:** Las concentraciones ambientales, los flujos de deposición seca y total, y la información sobre el sitio pueden descargarse del sitio web de CASTNET ([www.epa.gov/castnet](http://www.epa.gov/castnet)), en la sección "Download Data" (Descargar datos).

El informe anual de CASTNET proporciona tendencias a largo plazo, patrones regionales de contaminantes y resultados de garantía de calidad de la red. Los informes anuales recientes pueden consultarse en el sitio web de CASTNET, en la sección "Publications" (Publicaciones).

**Datos de NADP:** Los datos de deposición húmeda de la NTN y las concentraciones ambientales de NH<sub>3</sub> en la AMoN pueden descargarse del sitio web del NADP (<http://nadp.slh.wisc.edu/data/ntn/>).

**Cálculos del método híbrido TDep:** Los datos y mapas producidos mediante el método híbrido pueden descargarse del sitio web del método TDep del NADP (<http://nadp.slh.wisc.edu/committees/tdep/>).

## Referencias

- Butler, T., Vermeylen, F., Lehmann, C.M., Likens, G.E., Puchalski, M. 2016. Increasing Ammonia Concentration Trends in Large Regions of the USA Derived from the NADP/AMoN Network. *Atmos. Environ.* 146:132-140. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.06.033.
- Meyers, T. P., Finkelstein, P., Clarke, J., Ellestad, T.G., and Sims, P.F. 1998. A Multilayer Model for Inferring Dry Deposition Using Standard Meteorological Measurements. *J. Geophys. Res.*, 103(D17):22,645-22,661, DOI: 10.1029/98jd01564.
- Schwede, D.B. and Lear, G.G. 2014. A Novel Hybrid Approach for Estimating Total Deposition in the United States. *Atmos. Environ.*, 92:207-220. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.04.008.